

# APROXIMACIÓN METODOLÓGICA AL ESTUDIO DE SECUENCIAS SECAS DE LARGA DURACIÓN: EL CASO DE LAS ISLAS BALEARES

Lidia GÓMEZ NAVARRO

*Grupo de Climatología. Dpto. Geografía Física y AGR. Universidad de Barcelona.*

## RESUMEN

Las sequías como hecho climático de nuestras latitudes, es uno de los fenómenos naturales más estudiado, junto a las inundaciones. La identificación de las sequías, largas en cuanto a su duración total (de incluso varios años de déficit pluviométrico), lentas en su desarrollo, se ha realizado a través del IESP (índice estandarizado de sequía pluviométrica). Se observan diferencias en la duración e intensidad de las secuencias secas entre los 5 observatorios de las Islas Baleares escogidos (4 en Mallorca y 1 en Menorca) durante el periodo 1940-2001.

**Palabras clave:** sequías, identificación, IESP, Islas Baleares.

## ABSTRACT

*Droughts, a climatic feature in own latitudes, is one of the most studied natural phenomenons, together with floods. Droughts, long in their overall duration and slow in their development, are identified using IESP (standarized index of pluviometric drought). Differences in drought duration and intensity has been found over the Balearic Islands during the period 1940-2001.*

**Key words:** Drought, identification, IESP, Balearic Islands.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las sequías, característica recurrente en el clima mediterráneo, se consideran como riesgo natural desde el momento en que el prolongado déficit pluviométrico (periodo de indigencia pluviométrica que marca la sequía meteorológica) afecta y altera las actividades socio- económicas del ámbito que la padece (PITA y AGUILAR, 1995; GÓMEZ, 1997). La sequía, como fenómeno tiene además una implantación lenta pero abarca extensos territorios, una frecuencia relativamente elevada de aparición y en periodos similares. Las consecuencias de este déficit de precipitación, que a menudo aparece salpicado por episodios de lluvia abundante, y su efecto catastrófico sobre la sociedad aparece unido al incremento de regadíos y al desarrollo urbanístico. En este contexto, las sequías en las Islas Baleares aparecen como un riesgo natural, junto a las inundaciones y otros fenómenos atmosféricos (GRIMALT, 1992), que afecta de un modo especial a la actividad turística (demanda inflexible, concentrada en el tiempo y en el espacio).

Son numerosos los estudios consagrados a las sequías en su extensión regional y nacional (GIL OLCINA y MORALES GIL, 2001; GÓMEZ, 1997) en las que se utilizan diversas técnicas estadísticas para conocer su complejidad, y su recurrencia como riesgo cuando se trata de secuencias

prolongadas en el tiempo (sequía agrícola, sequía hidrológica, sequía socio-económica; NDMC, 2002).

## 2. DIVERSOS INDICES PARA EL ESTUDIO DE LAS SEQUÍAS: EL IESP

Localizar, conocer y cuantificar en términos de duración y de profundidad una sequía, comporta el uso de índices que nos permiten, además, establecer comparaciones entre observatorios. Un valor numérico, en porcentaje o fruto de un índice, debe ser sencillo en su interpretación, comparable, y que ayude a comprender el fenómeno de estudio, las sequías, a la vez que ayude a evaluar, en términos de actuaciones dirigidas a la mitigación, la más adecuada para cada momento.

Diversos métodos de cuantificación se han utilizado para estudiar las sequías meteorológicas, entre los que destacan los que se refieren a continuación, algunos especialmente usados en EEUU y Australia (NDMC, 2002).

1. Porcentajes respecto de la precipitación normal (media). Es un método sencillo y de fácil comprensión puesto que evalúa el incremento o descenso de precipitación respecto de la media y en porcentaje, para un periodo determinado de tiempo (mes, trimestre, año).
2. Cálculo de cuantiles. Habitualmente se suelen utilizar quintiles y deciles. En el primer caso se considera el primer y segundo quintil (20 % y 40 % de la muestra) como valores muy secos y secos respectivamente, que corresponden con el primer y segundo decil (20 %), y tercero y cuarto decil (40 %). El primer decil marca la cantidad de precipitación a partir de la cual se considera un valor extremadamente seco. Se trata de un método estadístico muy utilizado para conferir el carácter de muy seco, seco, normal, húmedo o muy húmedo a los registros anuales, trimestrales o mensuales con los que se trabaja.
3. Índice de precipitación estandarizado (Standardized Precipitation Index, SPI). Se trata de un índice desarrollado por MCKEE *et al.* (1993) para cuantificar el déficit de precipitación en diferentes escalas temporales. Estas reflejan el impacto de la sequía respecto de la disponibilidad de los diferentes recursos. Las condiciones de humedad del suelo responden a anomalías negativas de precipitación a corto plazo, mientras que las aguas subterráneas y sus reservas las reflejan a largo plazo. Por estas razones MCKEE *et al.* (1993) calculan el SPI para 3, 6, 12, 24 y 48 meses, como escala temporal. Los valores que adquiere este índice se distribuyen entre valores superiores o similares a +2.0 (extremadamente húmedo) e inferiores o similares a -2.0 (extremadamente seco). Los valores del SPI, por lo tanto pueden adoptar valores superiores e inferiores a +2.0 y -2.0, que corresponderían, en una curva normal, al 5 % de los casos que superan dos desviaciones típicas. Una de las grandes ventajas de este índice es que ofrece la posibilidad de alarmas tempranas respecto de sequías incipientes, por lo que es muy apreciado por los planificadores de usos de agua.
4. Índice de severidad de sequía de Palmer (Palmer Drought Severity Index, PDSI). En 1965, Palmer desarrolla un índice, el primero desarrollado en EEUU, basado en la ecuación del balance hídrico, mediante un algoritmo calibrado para regiones homogéneas. Los valores del índice varían entre 6.0 y -6.0, pero a partir del valor -2.0 considera la secuencia seca

como moderada (PALMER, 1965). Derivado de este índice aparece en 1968 el CMI (Crop Moisture Index) para identificar las sequías agrícolas. De ambos índices, muy utilizados en EEUU, existen mapas semanales que dan cuenta del estado de la cuestión.

### 2.1. El índice estandarizado sequía pluviométrica. Formulación y resultados.

El índice estandarizado de sequía pluviométrica (IESP) se basa en el valor de la mediana de cada uno de los meses del año, a partir de la cual se calculan las anomalías de cada registro. El resultado es una serie de anomalías de distinto signo que abarcan el conjunto de la serie:

$$AP_i = P_i - P_{MED}$$

donde,  $AP_i$  es la anomalía pluviométrica del mes determinado, resultado de sustraer la precipitación del mes a la mediana de la serie de ese mes,  $P_i - P_{MED}$ .

Ordenadas éstas de forma cronológica, se acumulará desde el primer valor de anomalía negativa ( $AP_i < 0$ ) hasta que adquiera la anomalía acumulada resultante signo positivo, ( $APA > 0$ ) momento que marca el final del déficit pluviométrico:

$$APA = \sum AP_i$$

La estandarización de estas anomalías (a partir del promedio y desviación típica de la serie completa) revela la intensidad de la sequía (PITA, 2001). El índice final es la anomalía pluviométrica acumulada estandarizada, lo cual le otorga un carácter comparativo, y probabilístico.

De entre los métodos estadísticos comentados que sirven para estudiar las sequías de larga duración, se ha optado por ensayar el IESP (índice estandarizado de sequía pluviométrica; Pita, 2001) en los registros mensuales completos de 5 estaciones de las Islas Baleares, durante el periodo 1940-2001. Para conocer el carácter lluvioso o seco de cada uno de los 62 años de estudio se ha optado por el método de los quintiles, y se ha calculado la probabilidad de ocurrencia de dos o más años secos o muy secos consecutivos (MARZOL, 2001).

Los observatorios seleccionados pertenecen 4 a la isla de Mallorca y el quinto, Sant Lluís a Menorca (figura 1). Se han tomado éstos por la longitud y calidad de sus series, así como por su buena distribución en el territorio, en especial de la isla mallorquina.

En el mapa que representa los observatorios considerados en el archipiélago balear se ha superpuesto el relieve: característica importante, en especial, de la isla de Mallorca, puesto que es en el interior de la sierra de Tramuntana donde se registran los mayores totales anuales (superiores a 1000mm), así como las cantidades más elevadas de lluvia en 24h para distintos periodos de retorno (GRIMALT, 1992). A medida que se pierde latitud, la precipitación desciende paulatinamente hacia el sector costero donde los valores promedio están en torno a los 500mm. En todos los casos el régimen de precipitación anual es OIPV, siendo el otoño la estación más lluviosa, seguida del invierno, y la más seca, el verano. Esta uniformidad en el régimen estacional de precipitación repercute negativamente sobre el territorio, puesto que las secuencias secas de entidad se notarán en todos los observatorios, y el déficit pluviométrico de una cuenca no podrá compensarse

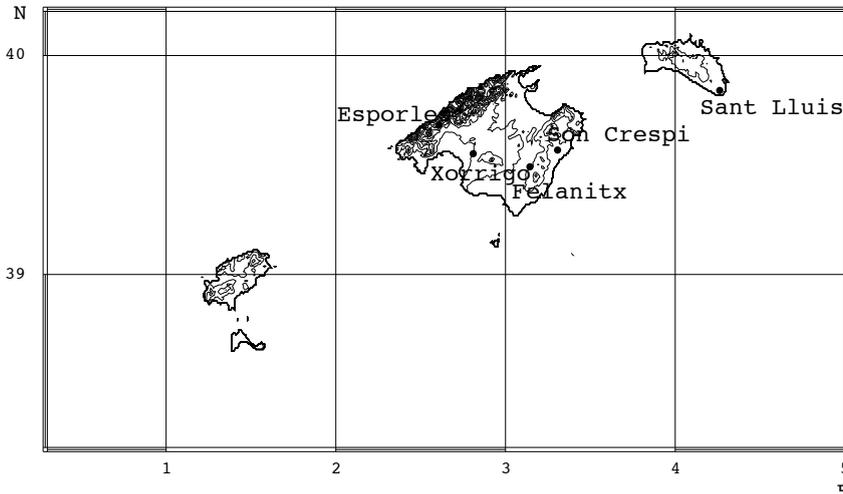


Figura 1: Mapa de localización de los observatorios de estudio.

con un incremento en otra (especialmente a efectos de suministro de agua). La variabilidad de la pluviometría en el archipiélago balear es moderada-alta, con un valor de coeficiente de variación promedio de la cuenca hidrográfica de 27 % (MARTÍN-VIDE, 2001).

Estas características de la pluviometría mediterránea balear, comentadas de forma sucinta, proporcionan una idea de cómo se plasman en el territorio las secuencias secas, y la peligrosidad de las sequías de larga duración. Para el estudio de éstas se ha utilizado el IESP, cuyos resultados para el conjunto de los observatorios delatan desde secuencias secas de varios meses hasta las más largas, que exceden la longitud de un año (tabla 1).

Dentro del periodo de estudio, la secuencia de sequía más larga aparece en Esporles, situada entre los meses de febrero de 1964 y octubre de 1971, ambos incluidos (93 meses). En los demás

Tabla 1: Valores de las secuencias secas (<sup>1</sup>, se contemplan sólo las que obtienen un valor  $z \leq -1,0$ ). Secuencias secas de máxima duración y localización temporal (<sup>2</sup>, no se tienen datos de 2002).

	Esporles	Xorrigo	Felanitx	Son Crespí	Sant Lluís
Nº sequías <sup>1</sup>	4	12	9	16	9
Nº meses incl.	203	171	160	162	165
Sec. máxima	93 meses	32 meses	49 meses	33 meses	47 meses
Fecha	Feb.64-oct.71	Dic66-jul69 My99-dic01 <sup>2</sup>	Nov.65-nov.69	Abr.99-dic01 <sup>2</sup>	Nov66-sep70

observatorios también aparece destacada por sus características de longitud y profundidad esta secuencia, aunque más corta, y especialmente, fraccionada en varias de distinta longitud: es el caso de Xorrigo dónde con hiatos de 1 o 2 meses de valor positivo se concatenan 3 secuencias secas, desde marzo de 1964 a julio de 1969, que suman 62 meses secos (fig. 2).

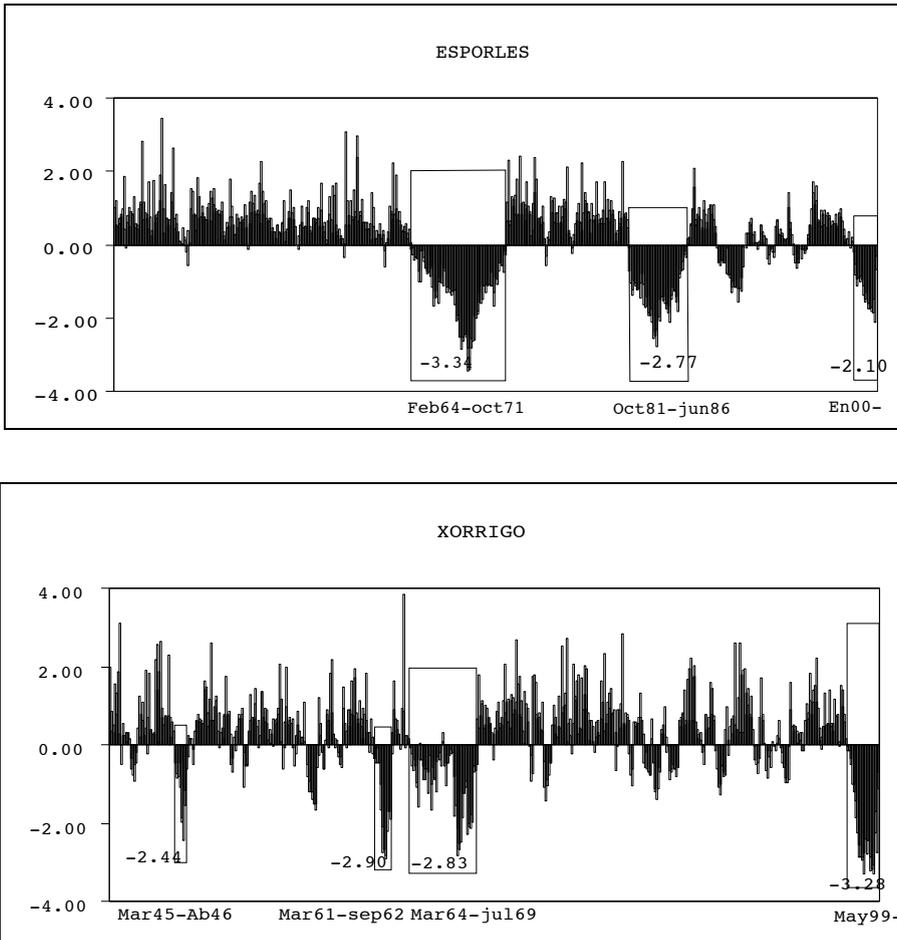


Figura 2: Resultado de la aplicación del IESP para Esporles y Xorrigo (1940-2001). Nótese la diferencia entre el número de secuencias secas y su longitud. En el caso de Xorrigo destaca la fragmentación de las mismas en secuencias menores.

En otros momentos secos de las series, como las secuencias secas de inicios de los 80 también se observa un fragmentación de secuencias respecto de la completa que se detecta en Esporles (57 meses): en Felanitx se suman 31 meses pero con un hiato de dos meses con valores de  $z$  positivos (feb83-abr84 y jul84-oct85) y en Son Crespí 30 (sep81-jul83 y oct83-abr84).

Coincidencia sin embargo en 4 de los 5 observatorios (la excepción en San Lluís, en Menorca) en la última secuencia seca larga registrada hasta el momento, cuyo inicio se ubica en abril o mayo de 1999 (en Son Crespí, Xorriego y Felanitx), y en enero de 2000 en Esporles. En los cuatro casos la secuencia es incompleta porque no se han tomado los registros de 2002.

La profundidad de la sequía (valor  $z$  de las secuencias estandarizadas) y en consecuencia su peligrosidad, en todas las estaciones alcanza valores de  $-3$  en longitudes de al menos un año de duración, e incluso se supera. En los observatorios de Son Crespí, Xorriego y Felanitx la mayor profundidad de la sequía se consigue en esta última secuencia con valores de  $-4.32$ ,  $-3.28$  y  $-3.54$  respectivamente (fig. 3 y fig. 4).

Se localizan varias sequías de larga duración coincidentes aproximadamente en el tiempo en los observatorios de estudio, entre las que destacamos las que en al menos cuatro observatorios son perceptibles: abril de 1945 a febrero de 1946 (11 meses); noviembre de 1965 a junio de 1966 (8 meses); noviembre de 1966 a julio de 1969 (33 meses); noviembre de 1981 a febrero de 1982 (4 meses); febrero de 1983 a julio 1983 (6 meses); octubre de 1983 a abril de 1984 (7 meses); diciembre de 1988 a mayo de 1989 (6 meses) y enero de 2000 al fin de la serie, en diciembre de 2001, pero posiblemente no de la secuencia seca (24 meses).

Las secuencias de sequía entre 1980 y 1996 que afectan a Baleares se encuadran durante la rigurosa sequía ibérica comprendida entre 1980-1985 (desde otoño de 1980 a la primavera de 1984), y la de 1990-96 (primavera de 1992 a diciembre de 1995 o enero del año siguiente; OLCINA, 2001). En el primer caso (sequía 1980-84) las reducciones de precipitación en algunos observatorios de Mallorca llegaron a ser de más del 50 %, como ilustra el caso del año 1983 en los observatorios de Calvià (promedio de 603 mm, se recogieron 243.0, por lo que se produjo una reducción del 59.7 %), Lluc (de 1264 mm a 619.3 mm en 1983, 51 % de reducción), Manacor (54.6 %), Palma-Urània (58 %) y Sóller (53.4 %). Reducciones muy evidentes de la precipitación a las que añadir el déficit acumulado en los años anteriores, con lo que la situación fue extremadamente complicada, sobretudo respecto al abastecimiento urbano de agua. Los acuíferos descendieron drásticamente su nivel, los embalses de la Serra estaban agotados, de modo que se tuvieron que excavar nuevos pozos con carácter de urgencia para abastecer Palma (GRIMALT, 1992).

La estructura de la sequía en Baleares muestra comportamientos distintos, en cuanto a su frecuencia, duración e intensidad, de modo que una larga secuencia en Esporles se traduce en varias en observatorios del llano mallorquín, aunque con intensidades comparables. Para captar esta diversidad se ha optado por generar gráficos en los que se representa la sequía en función de la duración e intensidad de cada secuencia. En este caso sólo se consideran aquellas que poseen un valor de  $z \leq -1$  (fig. 5).

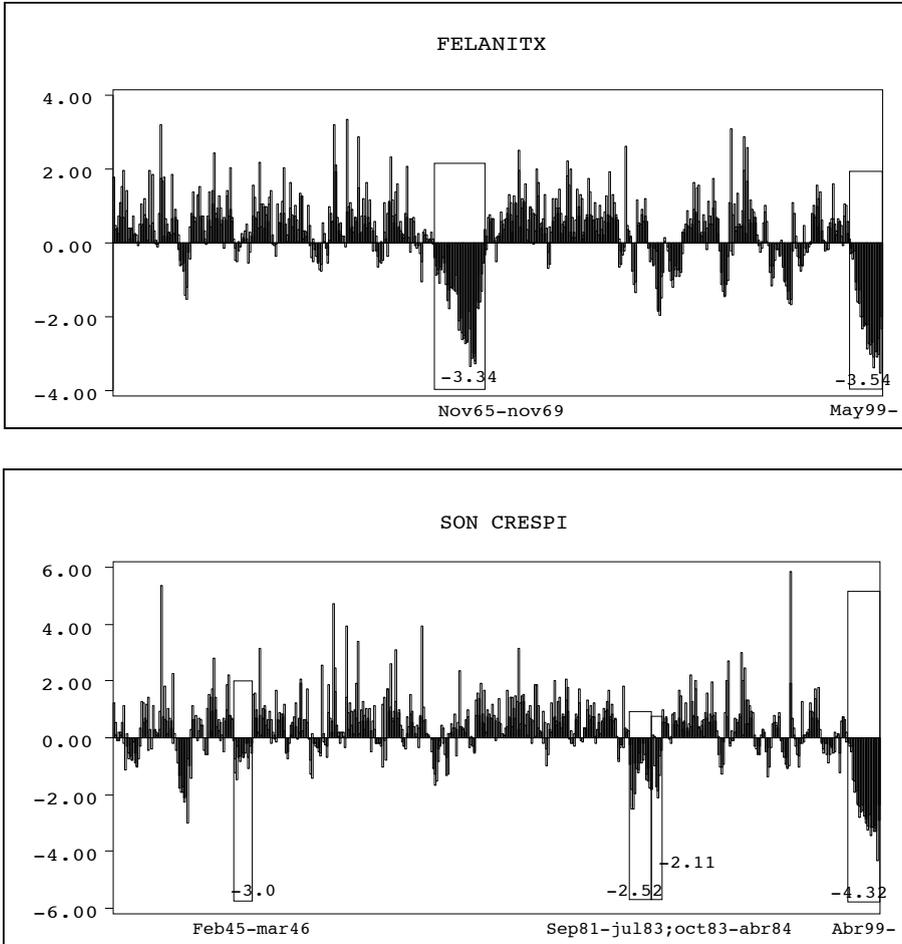


Figura 3: Resultado de la aplicación del IESP en Felanitx y Son Crespí (1940-2001). Nótese la diferencia entre el número de secuencias secas y su longitud.

Los resultados que ofrecen los diagramas muestran tres patrones distintos, en cuanto a la relación intensidad-duración de las sequías. El primer patrón lo formaría el observatorio de Esporles, dónde solo se han detectado 4 secuencias de indigencia pluviométrica de profundidad  $z \leq -1$ : las sequías no se ven salpicadas de periodos de varios meses húmedos (sin hiatos), sino que configuran secuencias únicas de longitud extrema, en comparación con los demás observatorios.

El segundo patrón de comportamiento de la sequía se caracteriza por numerosas secuencias secas de longitud hasta 2 años, y profundidad de hasta -2, pero a las que añadir 2 o 3 secuencias secas de más de 30 meses más intensas (-3): Felanitx y Sant Lluís (Menorca) ofrecen este comporta-

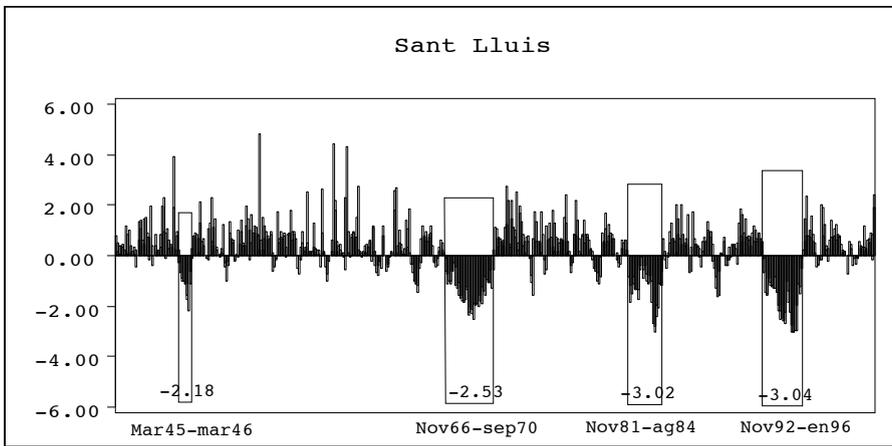


Figura 4: Resultado de la aplicación del IESP en Sant Lluís (1940-2001).

Tabla 2: Valores de probabilidad de que aparezca un año seco o muy seco antecedido por otro de similares características.

	Esporles	Xorrijo	Felanitx	Son Crespí	Sant Lluís
Prob. año seco tras otro seco	0.435	0.292	0.458	0.417	0.417

miento, que concuerda la convexidad de la polinómica de segundo grado. El tercer patrón es más homogéneo, porque aunque se arracimen numerosas secuencias secas entre los valores de duración 2 años e intensidad -2, aún varias sequías sobrepasan estos umbrales pero sin llegar a duraciones superiores de 3 años aunque si al menos 1 caso supere la intensidad -3: Son Crespí es el exponente de este comportamiento, diferente del anterior patrón dada la concavidad de la polinómica de ajuste. Xorrijo, por su parte muestra un patrón poco claro aunque en este estudio preliminar podría ser asimilable al tercero.

Respecto del carácter de cada uno de los años de estudio, se ha realizado el cálculo de quintiles para cada observatorio, de modo que el 40 % de los casos sean años secos y muy secos.

El interés de este pequeño cálculo radica en conocer si estos aparecen salpicados en la relación de registros anuales o muestran un cierto contagio, en términos de probabilidad de que un año seco aparezca tras otro de estas características.

El observatorio de Xorrijo es el que muestra un menor contagio entre años consecutivos secos, de forma que solo el 29 % de los años secos o muy secos están precedidos de años de semejante indigencia pluviométrica, mientras que en el resto de los observatorios el porcentaje se eleva más

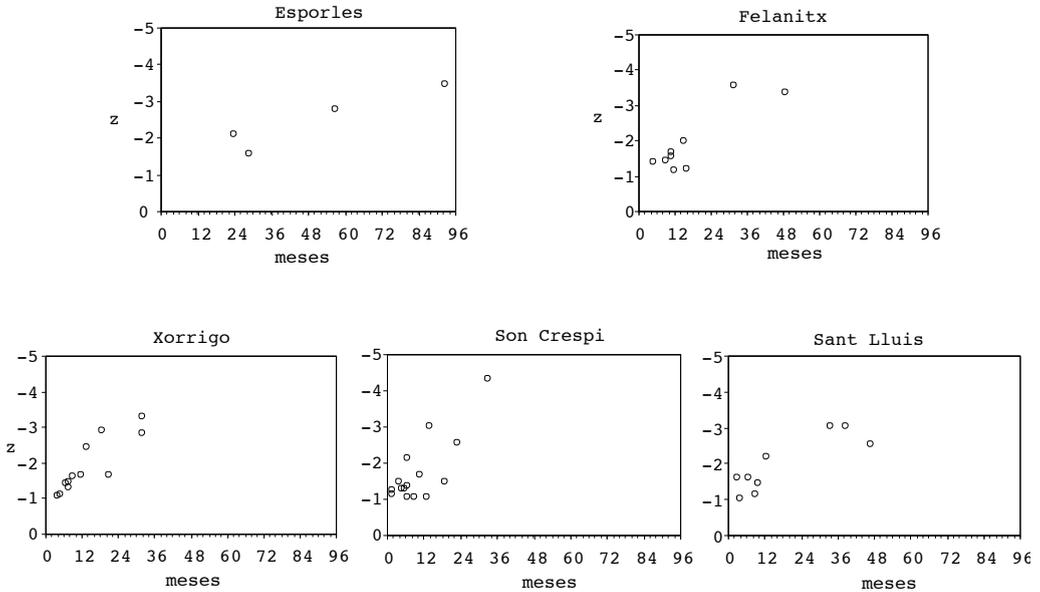


Figura 5: Diagramas de intensidad ( $z \leq -1,0$ ) y duración (meses) de estas sequías en Baleares.

de un 10 % y supera el 40 % de ocasiones. En estos casos dos de cada cinco años secos estarían seguidos de otro año de las mismas características, agudizando el impacto del déficit pluviométrico en la agricultura, inicialmente, y de seguir, en la sociedad.

### 3. CONCLUSIONES

Las sequías de larga duración en el archipiélago balear han sido estudiadas, de forma exploratoria, utilizando el índice estandarizado de sequía pluviométrica a fin de ensayar la bondad del mismo y las posibilidades que ofrece su identificación. El IESP responde bien a la realidad de la sequía balear al detectar tanto las secuencias de indigencia de varios meses como de la años consecutivos, en 5 observatorios durante el periodo 1940-2001. Los gráficos que relacionan la intensidad con la duración marcan las pautas para extraer tres comportamientos distintos de las sequías en Baleares, que en próximos estudios se validaran con más observatorios insulares y peninsulares. Por otra parte, 2 de cada 5 años son secos o muy secos, a en la misma proporción dos de cada cinco años secos están precedidos de otro de semejates características en los observatorios de Esporles, Sant Lluís, Felanitx y Son Crespí. Sólo en Xorrigo la proporción de año seco seguido de otro seco es de casi el 30 %.

#### 4. AGRADECIMIENTOS

La presente investigación ha contado con ayudas procedentes del Proyecto REN2001-2865- C02-01 y CLI97-0419, del Grup de Climatologia (Generalitat de Catalunya), y se elaboró parcialmente en el Parc Científic (UB).

#### 5. REFERENCIAS

- GIL OLCINA, A. y MORALES GIL (2001): *Causas y consecuencias de las sequías en España*. Caja de Ahorros del Mediterráneo e Instituto Universitario de Alicante. Alicante.
- GÓMEZ, L. (1997): *Regionalización climática de la España peninsular mediante el análisis markoviano de las sequías*. Tesis Doctoral inédita. Universidad de Barcelona.
- GRIMALT, M. (1992): *Geografia del risc a Mallorca. Les inundacions*. Institut d'Estudis Balearics. Palma.
- MARTÍN-VIDE, J. (2001): Diez consideraciones sobre las sequías en Catalunya y Baleares. En GIL OLCINA, A. y MORALES GIL (Eds.) *Causas y consecuencias de las sequías en España*. Caja de Ahorros del Mediterráneo e Instituto Universitario de Alicante. Alicante, pp.207-230.
- MARZOL, M.V. (2001): La incidencia de las sequías en las Canarias occidentales y orientales. En GIL OLCINA, A. y MORALES GIL (Eds.) *Causas y consecuencias de las sequías en España*. Caja de Ahorros del Mediterráneo e Instituto Universitario de Alicante. Alicante, pp.345-372.
- McKEE, T.B., DOEKSEN, N.J. y KLEIST, J. (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints 8th Conference on Applied Climatology*, California, pp.179-184.
- NDMC (2002). Página web del National Drought Mitigation Center <http://drought.unl.edu/>
- OLCINA, J. (2001): Causas de las sequías en España. Aspectos climáticos y geográficos de un hecho natural. En GIL OLCINA, A. y MORALES GIL (Eds.) *Causas y consecuencias de las sequías en España*. Caja de Ahorros del Mediterráneo e Instituto Universitario de Alicante. Alicante, pp.49-110.
- PALMER, W.C. (1965): *Meteorological Drought*. Research Paper, 45. U.S.Dep.of Commerce Weather Bureau, Washington.
- PITA, M.F. y AGUILAR, M. (1995): Riesgos climáticos en España. En *Curso sobre impactos y riesgos climáticos*. CEDEX, Madrid
- PITA, M.F. (2001): Sequías en la cuenca del Guadalquivir. En GIL OLCINA, A. y MORALES GIL (Eds.) *Causas y consecuencias de las sequías en España*. Caja de Ahorros del Mediterráneo e Instituto Universitario de Alicante. Alicante, pp.303-344.